

Næringsstoffjernelse på mindre renseanlæg med urinsortering i oplandet

Næringssaltfjernelse på mindre renseanlæg med urinsortering i oplandet

Elsebeth Kolby
Pro-lab

Jes la Cour Jansen
Lunds Tekniska Högskola

Svanholm Gods

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 SPILDEVANDSSYSTEMET PÅ SVANHOLM GODS	15
1.1 INDRETNING AF URINSORTERENDE TOILETTER	15
1.2 AFLØBSSYSTEMET	17
1.2.1 Afløbssystemets principielle opbygning	18
1.2.2 Omfanget af toilet-installationer	19
1.2.3 Tilslutninger fra Godsets produktions og servicevirksomheder	19
1.2.4 Fejltilslutninger og uvedkommende vand	19
1.2.5 Vandindvinding og mulighed for placering af urintanke	20
1.2.6 Løsningsforslag	20
1.3 RENSEANLÆGGET	22
2 MÅLEPROGRAM PÅ SVANHOLM GODS	26
2.1 VANDFORBRUGSMÅLINGER	26
2.2 RUTINEMÅLEPROGRAM PÅ RENSEANLÆGGET	26
2.3 KORTLÆGNING AF SPILDEVAND FRA VIRKSOMHEDER OG INSTITUTIONER	27
2.4 BELASTNINGSUNDERSØGELSER PÅ RENSEANLÆGGET	28
2.4.1 Vandføringsmålinger	29
2.4.2 1. intensive målerunde	30
2.4.3 2. Intensive målerunde	30
2.5 SPECIALUNDERSØGELSER TIL EDB-SIMULERING	31
2.5.1 Spildevandskarakterisering	31
2.5.2 Slamkarakterisering	32
3 KONSEKVENSER AF URINSEPARERING FOR BELASTNING AF RENSEANLÆG PÅ SVANHOLM GODS	34
3.1 SAMMENSÆTNING AF SPILDEVAND FØR OG EFTER URINSEPARERING	35
3.2 SCENARIER FOR SPILDEVANDSUDVIKLINGEN	35
4 EDB-SIMULERING AF RENSEANLÆGGET PÅ SVANHOLM GODS	38
4.1 MODELLERINGSSTRATEGI	38
4.2 KALIBRERING AF SIMULERINGSMODEL TIL ANLÆGGETS NUVÆRENDE BELASTNING	39
4.2.1 Kalibrering af modellen.	39
4.2.2 Følsomhedsberegninger	40
4.3 EFFEKTEN AF URINSORTERING	41
4.3.1 Effekten af urinsortering ved uændret drift af renselanlægget	41
4.3.2 Bedømmelse af scenariet med 100% urinsortering	41
4.3.3 Optimering af anlægsdrift ved 80% effektiv urinsortering	41

4.4	VIRKSOMHEDER OG INSTITUTIONERS BETYDNING FOR UDNYTTELSE AF URINSORTERING SOM MIDDEL TIL AFLASTNING AF RENSEANLÆGGET	43
5	VURDERING AF DE ØKONOMISKE KONSEKVENSER VED URINSORTERING PÅ SVANHOLM GODS	46
5.1	OVERSLAG FOR ETABLERING AF URINSORTERING	46
5.2	POTENTIALER FOR BESPARELSER OG INDTÆGTER VED ETABLERING AF URINSORTERING	46
5.2.1	<i>Besparselsen til beluftning</i>	47
5.2.2	<i>Besparselser til kemikaliedosering</i>	47
5.2.3	<i>Salg af urin</i>	47
5.2.4	<i>Afgiftsbesparselser ved forbedret rensning</i>	48
6	REFERENCER	50

Forord

Denne undersøgelse af betydningen for næringssaltfjernelse på mindre renseanlæg af urinsortering i oplandet er gennemført på Svanholm Gods som et projekt under Aktionsplanen for økologisk byfornyelse og spildevandsrensning under tema 3 *Næringsstoffer fra by til Land*.

Projektet skal ses i direkte forlængelse af et *Afklaringsprojekt vedrørende udnyttelse af næringsalte i urin på Svanholm Gods*. Baggrunden for dette projekt var at afklare om humanurin kan indsamles separat og udnyttes som gødningsmiddel og således reducere anvendelsen af handelsgødning. Projektet viste at humanurin kan indsamles uden større problemer og at det har gode gødningsmæssige kvaliteter.

Separat indsamling af urin til gødningsformål reducerer indholdet af næringsalte i den resterende spildevandsmængde og denne undersøgelse skal kortlægge omfanget af denne reduktion og den betydning det har for driften af renseanlæg med krav til næringssaltfjernelse.

Projektet er gennemført på Svanholm Gods. Godsets beboere driver selv eget renseanlæg med næringssaltfjernelse. Herigennem og i kraft af det tidligere projekt har beboerne haft gode muligheder for at gennemføre den praktiske del af projektet, som ligger i naturlig forlængelse af aktiviteter, der allerede er gennemført. Der var bl.a. i forbindelse med det tidligere projekt allerede etableret en del af de nødvendige faciliteter.

Projektet sigter mod at belyse omkostninger forbundet med etablering af urinsortering toiletter i hele oplandet til renseanlægget på Svanholm Gods, herunder afklare brugernes præferencer mellem forskellige toilettyper.

Derudover gennemføres en kortlægning af den aktuelle belastning af Godsets renseanlæg, idet der udover almindelig beboelse modtager spildevand fra en række virksomheder og institutioner på Godset.

På baggrund af belastningsopgørelsen foretages edb-simuleringer af konsekvenserne for driften af Godsets renseanlæg ved hel eller delvis urinseparering i oplandet. Der foretages en bedømmelse af om der ved en sådan separation kan forventes opnået væsentlige driftsbesparelser ved driften af det eksisterende renseanlæg og om der kan opnås tilstrækkelig næringssaltfjernelse ved urinseparering til at simple renseteknikker end den nuværende konventionelle kvælstof- og fosforfjernelse kan være attraktive.

Som underleverandører til projektet har medvirket Erling Holm, Erling Holm aps vedrørende gennemgang af eksisterende kloaknet for at fastslå den aktuelle tilstand og for at vurdere omfanget og omkostninger af de installationer, der skal etableres for at opnå en fuldstændig afskæring af urin fra Godsets renseanlæg.

Projektet er afsluttet april 2002.

Sammenfatning og konklusioner

Denne undersøgelse af betydningen for næringsstoffjernelse på mindre renseanlæg med urinsortering i oplandet er gennemført på Svanholm Gods som et projekt under Aktionsplanen for økologisk byfornyelse og spildevandsrensning under tema 3 *Næringsstoffer fra by til Land*.

Separat indsamling af urin til gødningsformål reducerer indholdet af næringsalte i den resterende spildevandsmængde og undersøgelsen skal kortlægge omfanget af denne reduktion og den betydning det har for driften af renseanlæg med krav til næringsstoffjernelse.

Projektet er gennemført på Svanholm Gods. Godsets beboere driver selv eget renseanlæg med næringsstoffjernelse og der har tidligere været gennemført et projekt om udnyttelse af næringsalte i urin på Godset. Godset beboere har derfor haft gode muligheder for at gennemføre den praktiske del af projektet, som ligger i naturlig forlængelse af tidligere aktiviteter.

Det samlede spildevandssystemet på Svanholm Gods har indgået i projektet.

Der er etableret to forskellige typer urinsorterende toiletter, i forbindelse med Godsets fælles spisesal. De udgør de systemer, der var kommercielt tilgængelige i Danmark ved projektets etablering. Godsets beboere har evalueret systemerne og det vurderes at begge kan anvendes; men der er stadig behov for forbedringer, hvis de skal fungere optimalt.

Kloaknettet er kortlagt i et samarbejde mellem Godsets beboere og Erling Holm aps, således at der foreligger en detaljeret oversigt over ledningsføring og toiletplaceringer i hele renseanlæggets opland. Gennemgangen viste at der er 32 toiletter spredt over 7 bygninger/bygningsgrupper og at 2 toiletter er placeret langt fra de øvrige.

I forbindelse med projektet er der etableret kontinuert vandføringsmåling på renseanlægget. Herigennem er vandføringsvariationerne kortlagt og det er eftervist at kloaknettet i det store og hele fungerer separatkloakeret, kun med mindre vandføringsstigninger under og efter regn.

En skitsering af et system til fuldstændig urinseparering i kloakoplandet viser at det hensigtsmæssigt kan gøres ved at opdele toiletterne i 4 grupper med hvert sit opsamlingsystem, og ved at etablere separat behandling af det samlede afløb fra de to fjernliggende toiletter, således at de ikke længere er tilsluttet kloaknettet.

Godset renseanlæg er et traditionelt opbygget recirkulationsanlæg til kvælstoffjernelse og simultanfældning af fosfor. Det er bygget af Godsets beboere i 1993. Det betjener udover beboelsen på Godset, en række mindre produktionsvirksomheder og Godsets fælleskøkken. Anlæggets indretning og drift er kortlagt med henblik på edb-simulering af driften under forskellige forudsætninger om graden af næringssaltreduktion ved urinsortering i oplandet.

En indledende belastningsundersøgelse af renseanlægget sammenholdt med historiske belastningsmålinger viste at anlægget lejlighedsvis tilførtes spildevand med meget højt indhold af organisk stof. En kortlægning af virksomheder og institutioner i oplandet afdækkede at årsagen formentlig kan henføres til spild til kloaknettet fra malkeområdet på Godset. En mindre omlægning af systemet har sikret at dette ikke længere sker. En efterfølgende belastningsopgørelse viste spildevandskoncentrationer svarende til almindeligt husholdningsspildevand.

Med udgangspunkt i belastningen af renseanlægget og med erfaringstal for bidrag fra urin og øvrige spildevandstrømme er der opstillet 3 scenarier for den fremtidige belastning af anlægget ved gennemførelse af urinsortering i oplandet.

Udgangsscenariet er dagens situation, hvor der ikke er etableret urinsortering.

To scenarier beskriver den mulige fremtid, hvor der etableres urinsortering i hele oplandet. Hvis systemet fungerer 100% effektivt reduceres belastningen af kvælstof med 80% og fosfor med 50%. Ved en mere realistisk vurdering af det mulige potentiale for separat opsamling af urin opnås 2/3 reduktion af kvælstof og 40% reduktion af fosfor. Indholdet af vand og organisk stof i urin er meget lille således at den organiske stofbelastning og den hydrauliske belastning ikke ændres væsentligt ved etablering af urinsortering.

Edb-simuleringerne af de 3 scenarier er udført med simuleringssprogrammet EFOR 2001. Efter kalibrering af modellen svarende til den aktuelle belastning og de aktuelle procesforhold er modellen efterfølgende anvendt til at simulere effekten på renseanlægget ved reduktion af belastningen svarende til ovennævnte scenarier.

Udover simulering af den umiddelbare effekt ved den reducerede belastning er der foretaget beregninger af de mulige besparelser i el og kemikalier ved optimering af anlæggets drift efter den reducerede belastning. Derudover er der foretaget beregninger, der belyser muligheden for at opnå tilstrækkelig rensning til at opfylde de gældende udlederkrav ved større reduktioner i anlæggets voluminer, idet især den reducerede kvælstofbelastning mindsker behovet for volumen til iltning af kvælstofforbindelserne.

Edb-simuleringerne viser at der med et 100% effektivt urinsorteringssystem ikke tilføres tilstrækkeligt kvælstof til at opretholde de biologiske processer i renseanlægget. I praksis er det ikke muligt at sikre en så vidtgående separation, således at der næppe ville opstå problemer i praksis. Beregningerne viser dog at der ved separation af spildevandet skal sikres en balance mellem kvælstof og organisk stof, hvis der ønskes en vidtgående biologisk omsætning af det organiske stof.

Ved en realistisk vurdering af et effektivt urinsortende system svarende til separation af 80% af urinen vil belastningen på renseanlægget blive væsentligt reduceret og rensningen for både kvælstof og fosfor væsentligt forbedret uden omstilling af anlæggets drift. Urinsortering i oplandet til et renseanlæg, også i mindre omfang, må derfor generelt forventes at føre til bedre rensning.

Ved optimering af den kemiske fældning kan der opnås betydelig besparelser i kemikaliemængden. Da en betydelig del af fosfor indbygges i slammet uanset urinsortering vil besparelsen i kemikalier være større end den forholdsmæssige reduktion af fosforbelastningen.

Optimering af driften kan opnås på flere måder. Umiddelbart spares el ved den reducerede ammoniumbelastning. Den interne recirkulation, som indgår i denitrifikationen, kan stoppes da nitratmængden, der skal denitrificeres er begrænset. Slamalderen i anlægget kan nedsættes til et niveau, hvor der ikke sker nitrifikation således at elforbruget til iltning af ammonium helt kan undlades.

Edb-simuleringerne viser at der kun vil ske en begrænset stigning i udledning af Total-N som nitrat ved stop af den interne recirkulation. Stoppes nitrifikationen øges udledningen af Total-N også kun i begrænset omfang; men nu ved udledning af større mængder ammonium. Ingen af løsningerne vil give problemer med overholdelse af udlederkravet for Total-N for renseanlægget på Svanholm Gods; men et fuldstændigt nitrifikationsstop bringer ammoniumudledningen så tæt på anlæggets udlederkrav, at det er tvivlsomt om det vil kunne overholdes i praksis.

Da anlægget overholder de gældende udlederkrav med betydelig margin efter etablering af et dækkende urinsorteringssystem vil kapaciteten af det eksisterende anlæg være væsentligt større end nødvendigt. Der er derfor foretaget edb-simulering af konsekvensen af at reducere anlæggets voluminer. Da behovet for denitrifikation er begrænset vil anlæggets denitrifikationstank og interne recirkulation umiddelbart kunne fjernes. Da behovet for nitrifikation er reduceret kan beluftningstankens volumen evt. reduceres væsentligt.

Simuleringerne viser at anlæggets denitrifikationstank og den interne recirkulation kan borttages uden væsentlig øgning af den udledte Total-N således at anlægget uden problemer vil kunne overholde udlederkravene. Reduktion af det beluftede volumen til 1/3 af det nuværende vil reducere slamalderen så meget at nitrifikationen stopper. Effekten svarer stort set til effekten af at reducere slamalderen som beskrevet ovenfor således at det også her vil være tvivlsomt om anlægget kan overholde de gældende krav til ammonium.

På baggrund af skitsen for udbygning af urinsortering på Svanholm Gods og af edb-simuleringerne kan omkostninger og besparelspotentialer opgøres for etablering af systemet.

Den samlede pris for udbygning af urinsortering på Svanholm Gods er skønnet til ca. 1.5 mio. kr., hvor halvdelen er udgifter til toiletter, opsamlingsstanke og øvrigt udstyr; medens resten er entreprenørudgifter. Især den sidste post er vanskelig at bedømme da nyinstallation i de gamle bygninger kan være meget besværlig og omkostningskrævende.

Potentialet for besparelser ved driften af det nuværende anlæg er begrænset. Det er opgjort at der umiddelbart kan forventes en besparelse på kemikalier og el på ca. 5.000 kr. svarende til 20% af de aktuelle driftsudgifter ved etablering af urinsortering.

Hvis anlægget drives uden nitrifikation kan der spares lidt mere; men anlæggets overholdelse af udlederkravene bliver mindre sikker.

Ved nyanlæg af renseanlæg er det muligt at spare betydelige anlægsvoluminer, hvis der er etableret urinsortering i renseanlæggets opland og det vil formentlig være muligt at sikre en meget lave udledninger af såvel organisk stof som næringssalte med simple rensesystemer end den der anvendes på Svanholm Gods i dag.

Reduktion af afgifter på udledning af organisk stof, kvælstof og fosfor ved etablering af urinsortering på Svanholm Gods vil kun være af begrænset økonomisk omfang og kan næppe realiseres samtidig med optimering af driftsudgifterne.

Med det foreslåede system for urinsortering på Svanholm Gods indsamles skønsmæssigt 370 kg kvælstof og 50 kg fosfor pr år. Urinen har en god gødningsmæssig værdi; men den skønnes ikke at kunne bidrage til systemets økonomi, da der vil være omkostninger til transport og udbringning.

Prisen for etablering af urinsortering på Svanholm Gods vil imidlertid være høj og vil således ikke kunne modsvares af de opnåede besparelser på driften af det nuværende renseanlæg og på indtægter ved salg af urin som gødning.

De økonomiske potentialer vil være væsentligt større ved udbygning af sådanne systemer i nye bebyggelser, hvor omkostningerne til urinsortering vil være mindre og hvor den væsentlige reduktion af spildevandets indhold af kvælstof og fosfor kan udnyttes til at bygge enklere og billigere renseanlæg.

Summary and conclusions

This investigation of the effect of nutrient removal in a small treatment plant with urine separation in the catchment area was carried out at Svanholm, an estate housing a cooperative with about 110 residents. It is a project under the action plan on sustainable urban renewal and wastewater treatment, Theme 3 – *Assessment of the potential for and limitations to recycling of nutrients from urban to rural areas.*

Separate collection of urine for fertilisation purposes reduces the content of nutrients in the remaining sewage. The investigation examines the extent of the reduction and its impact on the operation of treatment plants with requirements for nutrient removal.

The project was carried out at the estate of Svanholm. The residents of the estate operate their own treatment plant with nutrient removal, and project on exploitation of nutrient from urine was previously completed at the estate. Therefore, the residents of the estate have been in a favourable position to conduct the practical part of the project, which follows up on the previous activities.

The project included the entire sewage system at the estate of Svanholm.

Two different types of urine separating toilets have been established in connection with the common dining hall of the estate. They represent the systems that were available on the market in Denmark at the start of the project. The residents of the estate have evaluated the systems and concluded that both types are usable; however, improvements are called for, if they are to work optimally.

The sewer system was mapped jointly by the residents of the estate and Erling Holm aps, and a detailed outline of sewers and toilets in the entire catchment area of the treatment plant has been drawn up. The mapping showed that 32 toilets are located in seven buildings/groups of buildings and that two toilets are located at some distance from the others.

In connection with the project, continuous water flow measurements were made at the treatment plant. Thus, water flow variations were mapped, and it appeared that the sewer system generally works as a separate sewer system, showing only minor water flow increases in connection with precipitation.

A draft of a system for complete urine separation in the catchment area shows that a suitable solution would be to divide toilets into four groups, each with a separate collection system, and to establish separate treatment of the entire discharge from the two remote toilets, disconnecting them from the sewage system.

The treatment plant of the estate is a traditional recirculation plant for nitrogen removal and simultaneous precipitation of phosphorous. Residents of the estate built it in 1993. In addition to the residents of the estate it serves a number of small manufacturing enterprises and the common kitchen of the

estate. Design and operation of the plant have been mapped for the purpose of computer simulation of operation under different assumptions as to the degree of nutrient reduction from urine separation in the catchment area. An initial load survey of the treatment plant compared with historical load measurements shows that occasionally, the plant received sewage with a very high organic matter content. Mapping of enterprises and institutions in the catchment area revealed that the reason might be spillage to the sewer system from the milking area of the estate. A minor alteration of the system ensured that this spillage has been stopped. A subsequent load measurement shows sewage concentrations corresponding to normal domestic sewage.

Based on loads on the treatment plant and empirical data for contributions from urine and other sewage flows, three scenarios have been drawn up for the future load on the plant after establishment of urine separation in the catchment area.

The baseline scenario is the present situation without establishment of urine separation.

Two scenarios describe the option of urine separation in the entire catchment area. If the system works at 100 per cent efficiency, the load of nitrogen is reduced by 80 per cent and that of phosphorous by 50 per cent. In a more realistic assessment of the potential for separate collection of urine, a two-thirds reduction of nitrogen and a 40 per cent reduction of phosphorous are anticipated. Water and organic matter contents in urine are very low, and consequently the organic matter load and the hydraulic load are not changed substantially after the establishment of urine separation.

The three scenarios were computer-simulated with the simulation programme EFOR 2001. After calibration of the model corresponding to the present load and present process conditions, the model was used to simulate the impact on the treatment plant from a reduction of the load resulting from the above scenarios.

In addition to simulations of the immediate effect of a reduction of the load, calculations have been made of possible savings of electricity and chemicals from optimisation of plant operation under reduced load conditions. Furthermore, calculations have been made elucidating the possibility of providing sufficient treatment capacity to comply with current discharge requirements by major reductions in plant volumes, since in particular the lower nitrogen load reduces the need for capacity for oxidation of nitrogen compounds.

Computer simulations show that with a 100 per cent efficient urine separation system amounts of nitrogen are insufficient to maintain the biological processes in the treatment plant. In practice it is not possible to ensure such an extensive separation, so problems would hardly arise in practice. However, calculations show that in the separation of sewage a balance must be secured between nitrogen and organic matter, if extensive biological reduction of organic matter is wanted.

In a realistic assessment of an efficient urine separating system corresponding to a 80 per cent separation of urine, the load on the treatment plant will be reduced substantially, and the treatment for both nitrogen and phosphorous will be improved significantly without altering the operation of the plant.

Thus, urine separation in the catchment area of a treatment plant must, also to a minor extent, be expected generally to result in improved treatment.

Optimisation of chemical precipitation can lead to considerable savings in amounts of chemicals. Considerable phosphorous amounts are bound in sludge regardless of urine separation, and consequently savings in chemicals will be larger than the relative reduction in the phosphorous load.

Optimisation of operation can be achieved in several ways. There are immediate savings in electricity from the reduced ammonium load. The internal recirculation that is part of the denitrification process can be discontinued, as nitrate amounts to be denitrified are limited. Sludge age in the plant can be reduced to a level where no nitrification takes place, so that electricity consumption for oxidation of ammonium can be avoided completely.

Computer simulations show that only a limited increase in discharges of Total-N as nitrate will occur if the internal recirculation is closed. If nitrification is stopped, discharges of Total-N will increase modestly, though in this case by larger discharges of ammonium. Neither of the solutions will cause problems in connection with complying with discharge requirements for Total-N for the treatment plant at the estate of Svanholm; however, a complete nitrification stop brings ammonium discharges close to plant discharge requirements, so that it is doubtful whether compliance will be achieved in practice.

The plant will comply with current discharge requirements with a considerable margin after establishment of a comprehensive urine separation system, and consequently the capacity of the existing plant will be considerably larger than needed. Therefore, computer simulations have been made of the consequences of reducing volumes of the plant. As the need for denitrification is limited, the denitrification tank and the internal recirculation of the plant can be removed. As the need for nitrification is limited, the aeration tank volume can be reduced substantially.

Simulations show that the denitrification tank of the plant and the internal recirculation can be removed without significant increases of Total-N discharges. Thus, the plant can comply with discharge requirements without any problems. A reduction of the aerated volume to one third of the present volume will reduce sludge age to a level where nitrification stops. The effect corresponds roughly to the effect from reducing sludge age as explained above, so that also here it is doubtful whether the plant can comply with current requirements for ammonium.

Based on the draft for establishment of urine separation at the estate of Svanholm and the computer simulations, the costs and savings potentials can be calculated.

Total costs for establishment of urine separation at the estate of Svanholm have been estimated at around DKK 1.5 million. Half of this amount covers expenses for toilets, collection tanks and other equipment, the remainder being costs for contractors. The latter item in particular is difficult to estimate, as new installations in old buildings can be very difficult and costly.

The potential for savings in the operation at the present plant is limited. It has been estimated that an immediate saving in chemicals and electricity of around DKK 5,000, corresponding to 20 per cent of present operating costs, can be expected from the establishment of urine separation.

If the plant is operated without nitrification, savings are slightly higher, but the ability of the plant to comply with discharge requirements becomes less certain.

With new construction of a treatment plant it is possible to save considerable plant volumes through the establishment of urine separation in the catchment area, and it will probably be possible to secure very low discharges of both organic matter and nutrients with more simple treatment techniques than those applied at the estate of Svanholm today.

Tax reductions relating to the discharge of organic matter, nitrogen and phosphorous from the establishment of urine separation at the estate of Svanholm will only be limited, and they can hardly be realised simultaneously with an optimisation of operating costs.

With the proposed system for urine separation at the estate of Svanholm an estimated 370 kg of nitrogen and 50 kg of phosphorous will be collected annually. Urine has a high fertilisation value; however, in view of the costs of transportation and application, it will probably not contribute to improving the system economy.

However, the costs of establishing urine separation at the estate of Svanholm will be high and cannot be offset by savings achieved in the operation of the present treatment plant and income from sale of urine as fertiliser.

The financial potential will be substantially higher when such systems are established in new building projects, where the costs of a urine separation system will be lower, and where the significant reduction of contents of nitrogen and phosphorous in sewage can be used to build a more simpler and less costly treatment plant.

1 Spildevandssystemet på Svanholm Gods

Det samlede spildevandssystemet på Svanholm Gods har indgået i projektet. Det er naturligt opdelt i tre komponenter.

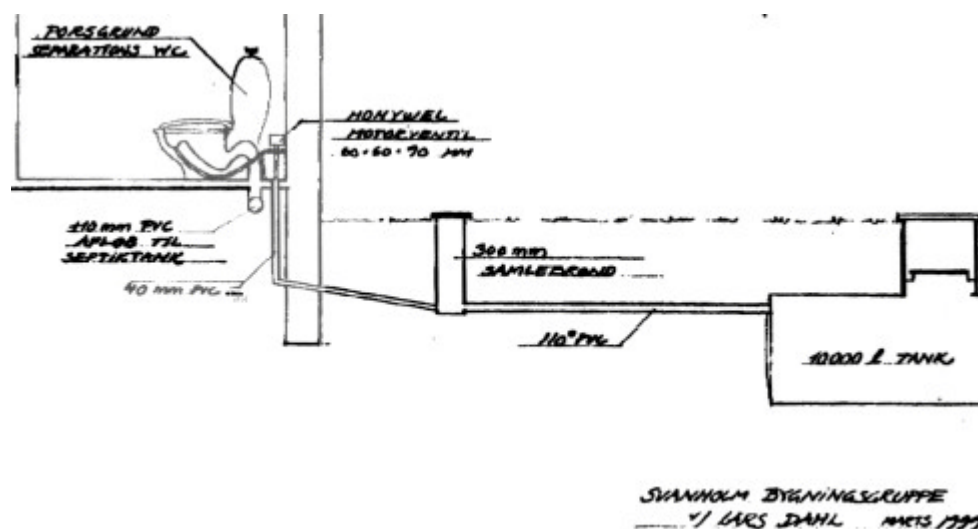
Der er etableret de to forskellige typer urinsorterende toiletter, i forbindelse med Godsets fælles spisesal. De to typer repræsenterer de systemer, der var kommercielt tilgængelige i Danmark ved projektets etablering.

Kloaknettet er kortlagt i et samarbejde mellem Godsets beboere og Erling Holm aps, således at der foreligger en detaljeret oversigt over ledningsføring og toiletplaceringer i hele renseanlæggets opland. Kloaknettets tilstand og mulige fejltilslutninger er lokaliseret og væsentlige kilder til belastningen er lokaliseret

Indretning og drift af renseanlægget på Godset er kortlagt med henblik på edb-simulering af anlæggets drift under forskellige forudsætninger om graden af næringssaltreduktion ved urinsortering i oplandet.

1.1 Indretning af urinsorterende toiletter

De urinsorterende toiletter på Svanholm Gods er af typen Porsgrund Separations WC og Dubbletten 091 Medel GM fra BB Innovation. Disse typer var de eneste kommercielt tilgængelige i Danmark ved projektets start. Toiletterne er placeret i hvert sit separate toiletrum i indgangstoiletet ved spisesalen på Svanholm Gods. De er således umiddelbart tilgængelige for alle Godsets beboere og for det store antal gæster der hvert år besøger Godset. Urinen fra toiletterne kan opsamles i en 10 m³ tank nedgravet umiddelbart udenfor spisesalen. Figur 1 viser en skitse af systemet.



Figur 1.1 Skitse af urinopsamlingsystemet på Svanholm Gods

Det er muligt at kortlægge de to toiletters vandforbrug separat, idet der i forbindelse med etableringen blev installeret separate vandføringsmålere på hvert toilet. Der er betydelig forskel på vandforbruget til toiletternes urin del idet Porsgrund Separations WC'et bruger ca. 0,68 l pr skyl medens Dubbletten fra BB Innovation kun bruger ca. 0,1 l pr skyl. I forbindelse med et tidligere projekt på Svanholm, hvori toilettet fra Porsgrund indgik blev vandforbruget sammenholdt med den opsamlede urin, og her blev på baggrund af mere end tre måneders opsamling fundet en samlet produktion af skyllevand + urin på ca. 0,5 l pr skyl. Det har dog senere vist sig nødvendigt at øge toilettes skyllevandsmængde noget for at undgå lugt- og tilstopningsproblemer.

I forbindelse med projektet har beboerne på Svanholm haft god lejlighed til at afprøve de to toiletter, der er noget forskellig i indretning og udseende som det fremgår af billederne nedenfor.

Beboerne har ved projektets afslutning vurderet toiletterne gennem en intern rundspørge. Der har ikke været problemer med den almindelige anvendelse af de to toiletter. Toilettet fra BB Innovation fremtræder pænere og mere velkonstrueret rent teknisk. For at undgå at børn der anvender toilettet sidder for langt fremme er der her lavet en særlige indretning med en ekstra klap i toiletsædet, der kan åbnes når mindre børn skal anvende toilettet. Det løser imidlertid ikke hele problemet fordi børn skal sidde meget langt tilbage på sædet for at undgå at fæces falder i urinskålen. Med god instruktion er det dog ikke noget problem. Da toiletterne er placeret, hvor der er mange gæster har der dog lejlighedsvis været problemer med papir og fæces i urinskålen.

Rengøringen af toilettet fra BB innovation er enkel og toilettet har ikke givet anledning til særlige rengørings- eller lugtproblemer. Ved den tidligere undersøgelse på Svanholm blev det konstateret at det var nødvendigt med ekstra rengøring for at undgå lugtgener fra toiletterne fra Porsgrund Separation.

Samlet vurderet giver urinsortering ikke væsentlige problemer i den daglige praksis. Toilettet fra BB Innovation foretrakkes dog af de fleste.



Figur 1.2. De to benyttede toilettyper med Porsgrund til venstre og Dubbletten til højre

1.2 Afløbssystemet

Som led i projektet er afløbssystemet kortlagt og gennemgået fra de enkelte afløbsinstallationer frem til renseanlægget på Svanholm Gods.

Herved er omfanget af toilet-installationer, samt omfanget af de installationer, der skal etableres for at få en fuldstændig afskæring af urin fra renseanlægget fastlagt og kan danne grundlag for et forslag til fuldstændig urinseparering i kloakoplandet.

Desuden har gennemgangen ført til en kortlægning af mulig tilledning af regnvand til kloaknettet og af tilledninger af kvælstof- og fosforholdige delstrømme fra Godsets produktion.

Anlægget er gennemgået den 23. – 24. august 2001 i samarbejde med Godsets ansvarlige for anlæggene. Gennemgangen er baseret på de foreliggende tegninger, som stort set indeholder hele afløbssystemet. Alle toiletter er udpeget ved en rundgang, det samme gælder mulige kilder til andre kvælstof- og fosforholdige delstrømme fra Godsets produktion. Der er ikke foretaget en total inspektion af alle brønde, septiktanke og tilløb, men en

stikprøvekontrol efter det vurderede behov. Igen ledninger er inspiceret indvendigt.

1.2.1 Afløbssystemets principielle opbygning

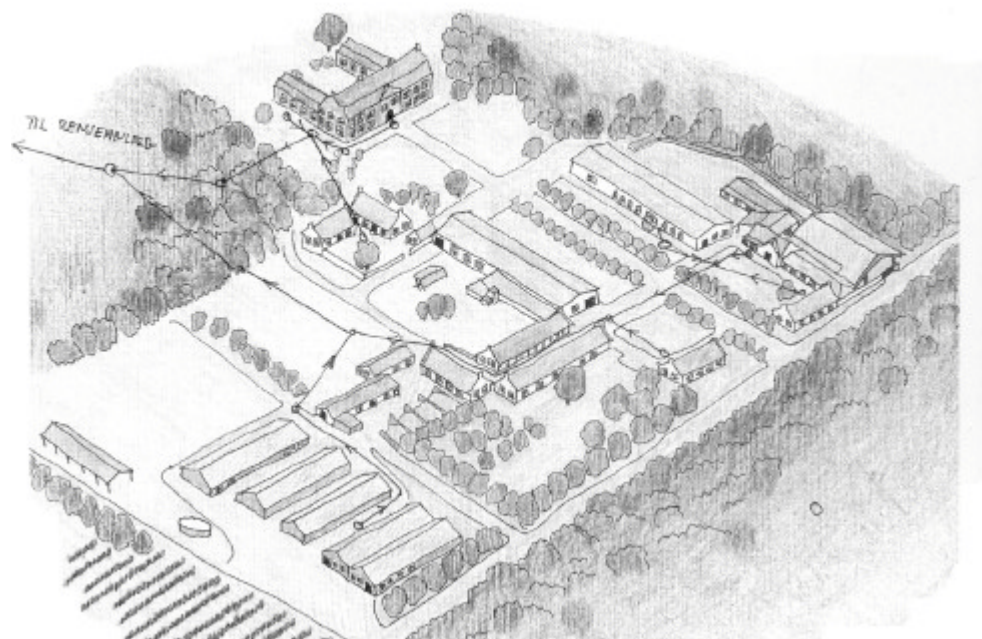
Afløbssystemet er stort set separat kloakeret. Dog ledes der enkelte steder regnvand til spildevandsledningen. Dette gælder fx en del af regnvandet fra tagene på hovedbygningen mod det indvendige gårdanlæg.

Hele afløbssystemet er umiddelbart uden for bygningerne forsynet med septiktanke, således at der her sker en vis mekanisk rensning, inden vandet via spildevandsledninger ledes til renseanlægget. Septiktankene, er alle 1 meter brønde, de fleste med T-stykker ved indløb og udløb. Der findes program for tømning svarende til belastning. Flere tømmes 4-6 gange årligt.

Afløb gennem olieudskillere fra udendørspladsen ved værksteder ledes til den nærliggende sø.

I de senere år er tilsluttet 2 pavilloner umiddelbart nordvest for værkstedsbygningen sammenbygget med spisesal/køkken. Spildevand herfra ledes til brønd ved hovedbygningens sydvestlige hjørne. Der er et kontor og toilet under etablering ved kostalden. Endelig er der i forbindelse med et tidligere projekt etableret opsamlingsstank til urin uden for Godsets køkken/spisesal – samt fedtudskiller og septiktank samme sted.

Figur 1.3 viser en skitse af kloaknettet på Svanholm Gods.



Figur 1.3 Skitse af kloaknettet på Svanholm Gods

1.2.2 Omfanget af toilet-installationer

I alt er der registreret 32 toiletter ved gennemgangen af Svanholm Gods, heraf er et under etablering og der er etableret et med urinsortering, der indgår i projektet.

Et toilet er placeret i grøntsagspakkeriet og et under etablering i den nye stald for kalve (ved kostalden). De øvrige 30 er fordelt på kælderniveau, stueplan og 1. sal i de forskellige bygninger som angivet i tabel 1.

Tabel 1. Oversigt over toiletplacering på Svanholm Gods

	Hoved- bygning inkl. Pavilloner	Bolig nærmest Hoved- bygning	Bolig og børnehave ved Hoved- bygning	Bolig til venstre for Indkørsel	Bolig til højre for Indkørsel	Ved Spisesal	Ved Værksted og Kaffestue
Kælder:	1			1			
Stueplan:	3 + 1	1	3	2	2	2	4
1. sal:	6	1	1	1	1		

1.2.3 Tilslutninger fra Godsets produktions og servicevirksomheder

Ud over toiletter kan der forekomme kvælstof- og fosforholdige delstrømme til renseanlægget fra Godsets produktion ved kostalden, grøntsagspakkeriet og den udendørs ensilageplads (ved kostald/ungdyrstald).

I kostalden findes udmugningsanlæg, hvorfra spildevand mv. ledes til en gyllebeholder. Desuden findes separat malkeafdeling og mælkerum, hvorfra spildevandet ledes gennem en septiktank. Renseanlægget kan herfra tilledes mælkerester samt spildevand fra køer under malkningen. Afføringen må forventes at blive tilbageholdt i septiktanken, der er en 1 meter brønd med et 2.-kammer af en lodretstående 300 mm plastledning.

I og ved grøntsagspakkeriet findes afløb fra vask af kartofler, gulerødder og løg. Vaskevandet ledes overvejende til en container udenfor, hvor det bundfældes. Herfra går det meste vand til regnvandsafløb.

Fra ensilagepladsen er der overvejende fald af terræn mod ungdystalden, hvorfor det meste ensilagesaft opsamles og føres til en pumpebrønd lige uden for stalden. Herfra pumpes det til gyllebeholderen. Fra den øverste del af ensilagepladsen kan ensilagesaft komme til spildevandsledningen til renseanlægget. Dette sker efter al sandsynlighed kun i meget små mængder.

I "Silo" findes pakkeri for frugt. Herfra ledes kun vand fra rengøring af gulve mv. til spildevandsledningen.

1.2.4 Fejltilslutninger og uvedkommende vand

Der er under gennemgangen kun registreret enkelte tagarealer, som tilledes spildevandssystemet, hvorfor det formentlig er lidt regnvand, som ledes til spildevandsledningen. Dette blev bekræftet under et nedbør den 24. august, hvor der ved en visuel observation af tilløbet til pumpebrønden på renseanlægget ikke var nævneværdig mere vand end dagen forinden i tørvejr.

På tidspunktet for gennemgangen vurderes det, at grundvandsstanden er under de fleste ledninger. Ledningerne ud over mark og gennem skov frem til renseanlægget ligger dog i en lavning, hvor grundvandet meget vel kan stå over ledningen i vinterperioden. Imidlertid er hele ledningen bygget af nyere pvc-rør og pvc-brønde, hvorfor ledningen antages at være tæt. Den sidste brønd før renseanlægget, en ældre sandfangsbrønd, kan være utæt, således at der her siver grundvand ind i perioder. Hvor spildevandsledningen fra hovedbygningen ledes gennem regnvandsbrønden i skoven, sker dette i en tæt 160 mm pvc-ledning.

Der registreres kun sjældent ekstra tilløbsvandmængder til renseanlægget, som kan tilskrives indsvivning eller nedbør.

1.2.5 Vandindvinding og mulighed for placering af urintanke

Svanholm Gods har egen vandindvinding placeret umiddelbart nordvest for værkstedsbygningen sammenbygget med spisesal/køkken. Med de gældende afstandskrav (50 meter) kan urintanke placeres uden problemer i forhold til boringen.

1.2.6 Løsningsforslag

Da toiletinstallationer findes fordelt rundt i Godsets hovedbygning samt i 9 andre bygninger fordelt over hele Godsets bebyggede område, vil en fuldstændig urinseparering i afløbssystemet indebære store indgreb i bygningerne. Specielt hvis anlægget udføres med gravitationsafløb for urinen. Desuden vil separeringen indebære etablering af en hel del urintanke til opsamling.

Afledningen af fækalier og øvrige faste dele fra toiletterne er forudsat fortsat at skulle ske via de eksisterende afløbsledninger i og uden for bygningerne.

1.2.6.1 Urinledninger

Nye rørføringer til den separate afledning af urinen fra toiletter vil kræve store bygningsmæssige indgreb. Ved afløb med gravitation bør der erfaringsmæssigt anvendes 50 – 75 mm rør indendørs. I jorden bør anvendes 110 mm rør. Minimumsfald for urinledninger findes ikke belyst i dag, men det kan ikke anbefales at anvende et fald mindre end 30 – 40 ‰, måske 20 ‰ ved større mængder i ledninger i jord, jf. efterfølgende om muligheder for forstoppelser. Urinledninger skal udføres helt tætte, og forsynes med gode rensesmuligheder, dvs. minimum pr. 20 meter samt ved større bøjninger.

Erfaringerne med funktionen af forskellige typer af urinsortende toiletter er pt. forskellige. Der skal være speciel opmærksomhed omkring vandlåsen på urinledningen i toilettet. Det skal ved montagen sikres, at vandlåsen er fulde højde er tilstede, idet røret oftest er tyndt, og der derfor er meget lidt vand i vandlåsen. I modsat fald kan vandet suges ud med deraf følgende lugtgener. Næringsalte i urinen kan endvidere krystallisere og tætnes røret (urinsten). Denne forstoppelse kan ske oftere, hvis der kommer hår, vatpinde mv. i urinskålen

Et alternativ til afledningen af urinen ved gravitation vil være at anvende et tryk-afløbssystem til dette formål. Herved kan rørdimensioner gøres mindre, dog afhængig af hvilket system som anvendes, og ledningsføringen kan gøres

uafhængig af faldforhold. Urinledninger under tryk må forventes at volde mindre problemer med urinsten mv. Erfaringer kendes dog ikke.

Ved et trykssystem placeres der et pumpeanlæg ved toiletet, som det fx kendes fra ældre bygninger, hvor der er indbygget flere nye toiletter, som led i en ombygning af husets funktion. Disse pumpeanlæg har normalt tilløb fra et almindeligt toilet, og er forsynet med et skæresystem til findeling af spildevandet indhold af papir, fækallier mv.

På Svanholm Gods skal alene urinen tilføres pumpeanlægget, hvorfra det enten pumpes til en gravitationsledning uden for bygningen eller pumpes helt frem til urintanken. Denne anvendelse bør godkendes af leverandøren inden installationen. Anvendelse af trykfløb kan ske alene ved de toiletter, hvor indgrebet i bygningen for en traditionel rørføring er særlig voldsomt, eller ved alle toiletter. Eventuelt kan der uden for bygningen anvendes små pumpebrønde og pumpeledninger i små dimensioner fra de enkelte bygninger frem til urintanken.

1.2.6.2 Urintanke

Normalt dimensioneres urinproduktionen som 1,5 – 2,5 l/person/døgn samt en skyllevandmængde, der varierer fra toilet til toilet. Oftest 0,1 – 0,3 l pr. skyl i urinafløbet.

Umiddelbart vil der kræves etableret 3 tankanlæg ud over det allerede etablerede ved fælleskøkkenet. På grund af fald kan det være aktuelt med flere tanke, tættere på de enkelte bygninger, hvis der anvendes gravitation af urinledningerne helt frem til tankene.

Det ene anlæg (A) placeres mellem hovedbygningen og bygningen med børnehaven. Hertil ledes urin fra 11 toiletter. Det andet anlæg (B) placeres mellem hovedbygningen og pavillonerne. Hertil ledes urin fra 6 toiletter. Det tredje anlæg (C) placeres fx til venstre for hovedalléen, med tilløb fra de to boliger ud mod Svanholm Allé. Hertil ledes urin fra 7 toiletter. Endelig ledes urin fra de 4 toiletter ved værksteder sammen med de to eksisterende separationstoiletter til det allerede eksisterende anlæg ved fælleskøkkenet (D).

For vurdering af tankstørrelser er der overslagsmæssigt regnet med et volumen fra 3-4 personer pr. toilet og 6 toiletbesøg pr. døgn. Desuden opsamling i en tank 1 over 6 mdr., hvorefter der sker overpumpning til opbevaring i de krævede 6 mdr. i en tank 2 inden udbringning. Der er regnet med urinproduktionen på 2 l/person/døgn samt en skyllevandmængde pr. toiletbesøg på 0,2 l pr. skyl i urinafløbet.

Produktionen af urin samt skyllevandmængden udgør ved denne beregning ca. 2 m³ pr. toilet i en periode på 6 mdr. Tabel 2 giver en oversigt over antallet af tilsluttede toiletter til de enkelte tankanlæg og den forventede produktion af urin inkl. skyllevand for en 6 måneders periode.

Tabel 2. Tilsluttede toiletter og kapacitetsbehov for de enkelte tankanlæg

	Anlæg A	Anlæg B	Anlæg C	Anlæg D
Toiletter tilsluttet	11	6	7	6
Urinproduktion & skyl, m ³ over 6 mdr.	22	12	14	12
Opbevaring i 6 mdr., m ³	22	12	14	12

Med den sikkerhed, som pt. ligger i beregningerne, vurderes det, at der til anlæg A skal anvendes 4 tanke á 10 m³. Til anlæg B skal anvendes 4 tanke á 6 m³. Til anlæg C skal anvendes 4 tanke á 6 m³, og til anlæg D skal anvendes en tank á 10 m³, idet der her allerede er en tank på 10 m³.

Før en eventuel udførelse skal disse overslag optimeres i lyset af de valgte toiletter og en detaljeret kortlægning af beboelsen i de enkelte bygninger.

1.2.6.3 Øvrige forhold ved afløbssystemet

Ved en fuldstændig urinseparering i afløbssystemet foreslås der for det eksisterende toilet i pakkehallen for grøntsager, og toilettet der er under etablering i den nye stald for kalve, etableret mekanisk rensning/septiktank samt nedsivning sammen med spildevandet fra de øvrige kilder i pakkehallen og kostalden. Herved afskæres disse delstrømme fra renseanlægget, og der spares urintanke til de to toiletter, som ligge afsides. Alternativt kan afløbene fra kostaldens malkeafdeling og mælkerum afskæres fra renseanlægget ved at lede afløbet fra septiktanken, hvortil disse tilledes, til gyllebeholderen via pumpestationen umiddelbart ved siden af septiktanken.

1.3 Renseanlægget

Renseanlægget på Svanholm Gods er et konventionelt recirkulationsanlæg med biologisk kvælstoffjernelse og simultanfældning af fosfor, svarende til udbygningen af Vandmiljøhandlingsplanens renseanlæg. Anlægget er suppleret med et efterpoleringstrin bestående af et liggende plastfilter og en poleringsdam. Udlederkrav til renseanlægget skal overholdes efter renseanlægget og den aktuelle undersøgelse har derfor alene været koncentreret hertil. Anlægget er bygget i 1993 af Godsets beboere.

Figur 1.4 Viser anlægget, hvor tilløbet er nederst til højre. Aktiv slamtankene er under overdækningen foran i billedet og sedimentationstanken bagved. Plastfilteret ses til højre herfor. Poleringsdammen ses helt til højre.



Figur 1.4 Overblik over renseanlægget på Svanholm Gods. Aktiv slamtankene findes under overdækningen foran i billedet og sedimentationstanken bagved. Plastfilteret ses til højre herfor

Renseanlæggets udlederkrav fremgår af tabel 3.

Tabel 3. Udlederkrav for renseanlægget på Svanholm Gods

Parameter	Udlederkrav
BOD mg/l	25
Total-kvælstof mg/l	6
Fosfor mg/l	1
Suspenderet stof mg/l	15
Ammonium maj-oktober mg/l	2
Ammonium november-april mg/l	4
Iltmætning %	60

Det fremgår af tabellen at kravene for kvælstof og fosfor er skærpet i forhold til det generelt gældende for de større kommunale renseanlæg suppleret med et vidtgående krav til nitrifikation. Kravet til BOD er derimod mindre restriktivt.

Anlæggets dimensioner og styring fremgår af tabel 4 og 5. I forbindelse med projektets gennemførelse blev etableret måleoverfald og kontinuert vandføringsmåling på anlæggets tilløb. I tilløbsmålestationen blev yderligere etableret pH registrering for at kontrollere om virksomhederne i anlæggets opland bidrager med surt eller basisk spildevand. Der er dog ikke registreret sådanne tilledninger.

Tabel 4. Anlægsdimensioner og udstyr på renseanlægget på Svanholm Gods

Enhed	Dimensioner og udstyr
Tilløb	Flowmåler, pH registrering
Anaerob tank	Volumen=4,5m ³ dybde=1,6m
Aerob tank	Volumen=24m ³ dybde=1,6m Iltmåling
Bundfældningstank	Overfladeareal=25m ² dybde=1,5m

Tabel 5. Styringen af renseanlægget på Svanholm Gods

Enhed	Styring
Returslam	Pumpe med manuel indstilling sat til ca. 100 % af tilløb
Overskudsslam	Manuelt styret Pumpe Udpumpning efter behov
Intern recirkulation	Pumpe med manuel indstilling setpunkt ca. 300% af tilløb

Dosering af
jernklorid

Pumpe med manuel indstilling
setpunkt justeres efter behov

Beluftning

Bundbeluftning med iltstyring

2 Måleprogram på Svanholm Gods

Svanholm Gods har sit eget vandværk og det samlede vandforbrug aflæses løbende på en hovedmåler. Derudover findes en vandmåler, der registrerer vandforbruget i fælleskøkkenet. I forbindelse med projektet er der derudover etableret separate målere på de to urinsorterende toiletter.

Renseanlægget på Svanholm Gods kontrolleres løbende af et eksternt miljølaboratorium. Der foretages årligt 5-6 afløbsmålinger og 2 tilløbsmålinger. Der foretages ingen vandføringsmålinger. Derudover foretager den driftsansvarlige lejlighedsvis målinger i forbindelse med optimering af driften.

I forbindelse med det aktuelle projekt viste det sig nødvendigt at etablere et noget mere omfattende måleprogram end oprindeligt planlagt, idet de indledende belastningsundersøgelser på reseauanlægget og gennemgangen af de historiske tilløbsmålinger viste sig lejlighedsvis ekstremt høje tilløbskoncentrationer, der ikke kunne stamme fra de forventede tilslutninger alene fra Godsets beboelser, fælleskøkken og andre fællesfaciliteter. Der blev derfor indledningsvis foretaget en detaljeret kortlægning af mulige fejltilslutninger og foretaget specialundersøgelser af belastningen fra Godsets grøntsagspakkeriet og fælleskøkken som supplement til belastningsundersøgelsen af anlægget og de specialundersøgelser af spildevand og slam der benyttes til edb-simuleringerne.

2.1 Vandforbrugsmålinger

Den samlede udpumpede vandmængde fra vandværket på Svanholm Gods aflæses løbende på en hovedmåler. Det årlige vandforbrug udgjorde i 2001 10.009 m³ svarende til et gennemsnitsforbrug på ca. 27 m³ pr dag. Aflæsningerne foretages typisk 3-4 gange pr uge og det fremgår at vandforbruget er meget konstant over året med et typisk forbrug mellem 23 og 35 m³/d.

En bimåler på fælleskøkkenet viser at vandforbruget her også er relativt konstant med et gennemsnitsforbrug på 2,3 m³/d.

2.2 Rutinemåleprogram på reseauanlægget

Der foreligger målinger af stofkoncentrationer af tilløb og afløb fra reseauanlægget på Svanholm Gods fra en længere årrække udtaget og analyseret af et eksternt miljølaboratorium. I tabel 6 og 7 er vist resultaterne fra primo 2000 for henholdsvis til- og afløb.

Tabel 6. Tilløbsmålinger fra renseanlægget på Svanholm Gods fra primo 2000

Dato	COD mg/l	BOD mg/l	Total-N mg/l	Ammonium mg/l	NOx mg/l	Total-P mg/l	Suspenderet stof mg/l
06-04-00	1300	540	94,4	26,6	<0,05	37,1	56
26-09-00	500	314	58,4	41,9	0,04	13,3	180
20-06-01	1100	515	60,2	32,9	0,01	35,8	1100
06-12-01	240	32,6	32,6	24,2	4,42	6,72	80

Tabel 7. Afløbsmålinger fra renseanlægget på Svanholm Gods fra primo 2000

Dato	COD mg/l	BOD mg/l	Total-N mg/l	Ammonium mg/l	NOx mg/l	Total-P mg/l	Suspenderet stof mg/l
16-02-00	50	3	10,1	0,02	8,83	0,28	<2
06-04-00	70	12	10,4	4,85	3,35	0,45	13
29-06-00	65	3	5,3	1,46	2,10	0,47	7
26-09-00	60	10	3,9	0,33	1,05	0,21	12
08-11-00	49	8	5,6	0,14	3,74	0,30	4
07-12-00	44	6	4,9	0,09	3,56	0,24	5
28-03-01	100	25	13,0	1,69	8,39	1,41	25
20-06-01	120	20	3,6	<0,01	0,09	0,76	53
18-07-01	90	18	3,3	0,04	0,24	0,74	37
15-08-01	70	15	9,2	4,37	1,74	0,62	23
12-10-01	50	6	7,0	3,50	1,70	0,49	13
06-12-01	36	6	8,2	1,92	4,55	0,36	14
14-03-02	90	27	8,6	2,37	2,53	0,34	56

Det ses at indløbsmålingerne varierer meget kraftigt både i absolutte koncentrationer og i sammensætning. De højeste koncentrationer kan ikke stamme fra normalt husholdningsspildevand. Da højeste koncentrationer af COD hænger sammen med høje koncentrationer af fosfor og relativt lave koncentrationer af kvælstof kunne tilledning fra Godsets malkeområde være årsagen til de ekstreme koncentrationer.

Afløbsmålingerne udviser ikke helt de samme variationer, selvom der ikke altid opnås fuldstændig nitrifikation og selvom der lejlighedsvis ses forhøjet udledning af suspenderet stof.

2.3 Kortlægning af spildevand fra virksomheder og institutioner

Gennemgangen af virksomhederne på Svanholm Gods kombineret med gennemgangen af kloaknettet beskrevet i kapitel 1 viste at muligheden for fejltilslutninger af spildevand måtte forventes at komme fra malkeområdet og fra grøntsagspakkeriet. Derudover blev det vurderet at fælleskøkkenet evt. kunne give anledning til de konstaterede lejlighedsvis store tilledninger.

Gennemgangen af malkeområdet viste at der kunne være risiko for at mælkespild blev ledt til kloaknettet og der blev gennemført en mindre omlægning af kloakforholdene således at dette ikke længere er muligt.

Grøntsagspakkeriet er integreret i kloaknettet og der blev derfor tilrettelagt et måleprogram for at afdække om det kunne bidrage til de ekstreme belastninger. Tabel 8 viser resultatet af COD målinger på 5 døgnprøver udtaget tidsproportionalt i kloaknettet lige nedstrøms afledningen fra pakkeriet.

Tabel 8. Koncentrationer af COD i kloaknettet på

Svanholm Gods luge nedstrøms grøntsagspakkeriet

Dato	COD mg/l
30-11-01	< 100
4-12-01	185
5-12-01	210
6-12-01	320
7-12-01	210

Det ses at COD værdierne er lave hele ugen igennem og det forventes således ikke at pakkeriet kan være årsag til de ekstreme tilløbskoncentrationer, ligesom belastningsbidraget herfra heller ikke skønnes væsentligt når vandforbrug og de målte koncentrationer tages i betragtning.

Fælleskøkkenet på Svanholm Gods benyttes væsentligst som køkken til fællespisningen på Godset; men der drives cateringvirksomhed herfra. Da fællespisningen er et centralt element på Svanholm Gods sker forarbejdningen af hovedparten af maden der spises på Godset her. Afløbet er forsynet med en almindelig fedtafskaller. Der blev gennemført en undersøgelse i lighed med undersøgelsen af pakkeriet for at afdække om fælleskøkkenet kunne være årsag til de ekstreme koncentrationer. Tabel 9 viser resultatet af COD målinger på døgnprøver udtaget tidsproportionalt 5 dage i afløbet fra køkkenet efter fedtafskalleren.

Tabel 9 Koncentrationer af COD i afløbet fra fælleskøkkenet på Svanholm Gods

Dato	COD mg/l
13-02-02	1260
14-02-02	1490
15-02-02	1730
16-02-02	1490
17-02-02	1960

Det ses ikke overraskende at koncentrationen af COD er relativt konstant og noget højere end normalt husspildevand. Da vandforbruget i køkkenet imidlertid kun er ca. 8% af det samlede vandforbrug på Svanholm Gods kan fælleskøkkenet ikke være årsag til de ekstreme tilløbskoncentrationer; men køkkenet bidrager naturligvis med en ikke ubetydelig del af den samlede belastning af renseanlægget. Ovennævnte vurderinger er understøttet af at der ved et par lejligheder med forventet stor belastning fra køkkenet er foretaget stikprøver her samtidig med at der er udtaget døgnprøver på renseanlægget. Det er herigennem konstateret at der momentant kan ske afledning med væsentligt højere COD koncentrationer end fundet i tabel 9; men det giver ikke anledning til væsentlig øgede COD-koncentrationer i tilløbet til renseanlægget.

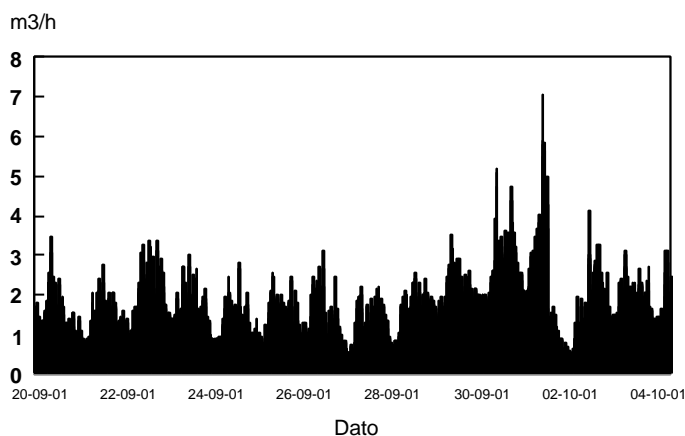
2.4 Belastningsundersøgelser på renseanlægget

Der har i hovedparten af projektperioden være foretaget automatisk vandføringsmåling i tilløbet til renseanlægget, idet der som led i projektet blev etableret et traditionelt måleoverfald med tilhørende løbende opsamling af resultater til beregning af vandføringen. Selve målersystemet stammede fra et tidligere projekt på Godset. Systemet har stort set fungeret tilfredsstillende med nogle få udfald. I en længere periode omkring årsskiftet 2001-2002 faldt vandføringsmålingerne dog ud i en længere periode idet vandføringen lejlighedsvis oversteg indløbspumpens kapacitet således at der skete opstuvning i målebrønden. Dette førte til tilbagestuvning i ledningen således at måleroverfaldet blev dykket og måling umuliggjort.

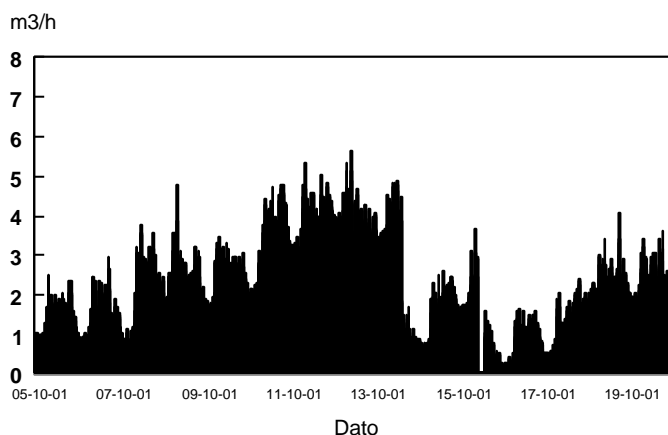
Der er foretaget 2 intensive belastningsundersøgelser af belastningen af renselanlægget. Der blev udtaget tidsproportionale døgnprøver i anlæggets tilløb. Den første runde blev gennemført tidligt i projektføreløbet og viste at der lejlighedsvis blev tilledt høje koncentrationer af COD til anlægget, medens den anden blev gennemført efter omlægning af spildevandsforholdene ved malkeområdet og fokuserede alene på COD for at få bekræftet at årsagen til de store variationer var fundet og afhjulpet.

2.4.1 Vandføringsmålinger

Variationerne i den hydrauliske belastning af renselanlægget på Svanholm Gods har kunnet følges relativt detaljeret i kraft af den kontinuerte vandføringsregistrering. Figur 2.1 og 2.2 viser variationer for nogle typiske perioder.



Figur 2.1. Typisk døgnvariation i den hydrauliske belastning af renselanlægget på Svanholm Gods i en tørvejrperiode frem til den 29-09-01



Figur 2.2. Hydrauliske variationer i tilløbet til renselanlægget på Svanholm Gods i en periode med nedbør

I tørvejrperioder er den hydrauliske belastning typisk 33 m³/dag svarende til kun ca. 25% mere vand end udpumpet fra Godsets vandværk.

Det ses af figur 2.2 at den hydrauliske belastning stiger noget i perioder med nedbør. Under den første regnperiode stiger belastningen kun moderat op til 2-3 m³/h svarende til en indsvining på 100% medens den stiger helt op imod 5 m³/h i perioder med nedbør flere dage i træk. Årsagen til den meget høje belastning skønnes i det væsentlige at være knyttet til ledningsforholdene lige

omkring renseanlægget idet anlæggets tilløbsarrangement ligger i et område med højt åbent grundvandsspejl.

Sammenlignes de høje vandføringer med den af DMI registrerede daglige nedbør i Kyndby ca. 3 km fra Svanholm Gods, er der ikke altid direkte sammenhæng.

Ved nogle af de store vandføringer i figur 2.1 og 2.2 især 30-09 – 02-10 og 09-10 – 10-10, er der samtidig registreret nedbør fra (3 – 7 mm). I andre perioder er der ikke registreret nedbør i Kyndby selvom der har været forhøjet vandføring. Der kan derfor lejlighedsvis være større tilløb end normalt fra nogle af Godsets virksomheder. Det kan dog heller ikke afvises at måleren lejlighedsvis har vist for store vandføringer, selvom målerenden er blevet rengjort et par gange om ugen. Endelig kan det have regnet på Svanholm Gods uden at der er registreret nedbør i Kyndby.

2.4.2 1. intensive målerunde

Tabel 10 viser resultaterne af den første intensive målerunde. På trods af problemer med datalogningen af vandføringsmålingen, således at der ikke foreligger vandføringsresultater for alle døgn bekræftede undersøgelser at der lejlighedsvis blev tilledt høje koncentrationer af COD medens niveauet for kvælstof og fosfor er lavere og variationerne begrænset. I tabellen er også medtaget resultater fra tilløbsmåling en dag, hvor der blev foretaget specialundersøgelser af tilløbsspildevand og slam - se nedenfor i afsnit 2.5.

Tabel 10. Analyseresultater fra den 1. intensiv runde, samt fra en specialundersøgelse

	COD mg/l	Total-N mg/l	Total-P mg/l	Vandføring m ³ /d
26-09-01*	1290	57,0		
01-11-01	525	58,3	9,1	
05-11-01	623	47,8	9,1	
06-11-01	883	48,9	8,2	
07-11-01	615	53,0	9,2	24,72
08-11-01	365	53,2	7,3	30,48
09-11-01	250			39,36
10-11-01		35,9	5,8	39,36

* Fra specialundersøgelse, se nedenfor

De lejlighedsvis meget høje tilløbskoncentrationer sammenholdt med resultaterne fra rutinemåleprogrammet gav anledning til ovennævnte detailgennemgang af mulighederne for fejltilslutninger og ekstrembelastninger grøntsagspakkeriet, fra malkeområdet og fra fælleskøkkenet.

2.4.3 2. Intensive målerunde

Efter gennemgange og sikring mod fejltilslutninger er gennemført en ny intensiv målerunde af belastningen på renseanlægget.

Tabel 11 viser resultaterne af dobbeltbestemmelser af COD på tidsproportionale døgnprøver.

Tabel 11. Analyseresultater fra den 2. intensivrunde

Prøvetagningsdato	COD mg/l
12-12-02	315

13-12-02	285
14-12-02	260
15-12-02	170
16-12-02	220
17-12-02	305
18-12-02	345

Det ses at COD-koncentrationen hele ugen igennem er relativt konstant og med en middelkoncentration langt lavere end tidligere.

2.5 Specialundersøgelser til edb-simulering

I forbindelse med edb-simuleringerne af renseanlægget er der foretaget en række specialundersøgelser af tilløbsspildevandets sammensætning og af egenskaberne i renseanlæggets slam. Undersøgelserne er gennemført baseret på to forskellige undersøgelsesstrategier anvendt i Holland og i Danmark beskrevet i (*Roeleveld P.J. og Van Loosdrecht M.C.M, 2002*) og i (*Kristensen G.H, Elberg P. og Jansen J la C, 1998*). Den hollandske strategi er baseret på en detaljeret fysisk kemisk karakterisering af råspildevandets indhold af organisk stof og kvælstof og den danske er baseret på karakterisering af spildevandet med sædvanlige standardanalyser suppleret med målinger af det aktive slams proces tekniske egenskaber.

Spildevandskarakteriseringen giver en detaljeret karakterisering af den enkelte døgnprøve og er således repræsentativ for belastningen på de udvalgte måledøgn. Slamkarakteriseringen giver de proces tekniske egenskaber af slammet som det har udviklet sig ud fra belastnings- og driftsforhold over en længere periode.

2.5.1 Spildevandskarakterisering

Som supplement til belastningsundersøgelsen er der 3 gange i projektet gennemført detailkarakterisering af tilløbsspildevandet til renseanlægget på Svanholm Gods, med hovedvægten på at bedømme nedbrydeligheden af det organiske stof, der både har betydning for kvælstofomsætningen og for anlæggets slamproduktion. Ved karakteriseringen blev der benyttet en metode præsenteret i (*Roeleveld P.J. og Van Loosdrecht M.C.M, 2002*) og som er vidt udbredt i Holland til praktisk brug på renseanlæg med kvælstoffjernelse, der ønsker at udnytte edb-simulering til driftsoptimering.

Ved karakteriseringen foretages en fraktionering af spildevandets organiske stof og af kvælstof i de komponenter der anses for centrale for kvælstoffjernelsen. Det er i hovedsagen spørgsmålet om at bestemme andelen af letomsætteligt organisk stof til brug for denitrifikation og mængden af uedbrydeligt organisk stof, der bidrager til slamproduktionen. For en nærmere beskrivelse af metoden henvises til (*Roeleveld P.J. og Van Loosdrecht M.C.M, 2002*). Resultatet af undersøgelsen er vist i tabel 12 og giver den opdeling af det organiske stof, der skal benyttes ved modelleringen af de internationalt anerkendte edb-modeller for renseanlæg.

Tabel 12. Opdeling af COD i fraktioner svarende til principperne i (*Roeleveld P.J. og Van Loosdrecht M.C.M, 2002*), også andelen i forhold til COD-total er angivet tillige med typiske intervaller fundet på en række hollandske renseanlæg

COD fraktioner	(mg/l)			Andel af COD-total			Middel og typisk interval for andel af COD-total
	Analyserunde			Analyserunde			
	1	2	3	1	2	3	

Opløst nedbrydeligt	360	133	49	0,28	0,42	0,33	0,09	0,26-0,42
Opløst inert	25	14	10	0,02	0,04	0,07	0,03	0,06-0,10
Partikulært nedbrydeligt	420	26	4	0,32	0,08	0,03	0,10	0,28-0,48
Partikulært inert	485	142	87	0,38	0,45	0,58	0,23	0,39-0,50
COD-total	1290	315	150					

Det ses at indholdet af organisk stof er betydeligt reduceret ved den sidste prøvetagningsrunde, hvor der var foretaget afskæring af spildevand fra malkeområdet. Sammensætning afviger betydeligt mellem de tre runder, selvom sammensætningen i det store og hele ligger indenfor det typiske område for de Hollandske anlæg. Der er dog generelt et relativt stort indhold af partikulært inert organisk stof, således at der må forventes en stor slamproduktion på anlægget.

2.5.2 Slamkarakterisering

Sideløbende med spildevandskarakteriseringen blev gennemført karakterisering af renseanlæggets slam med henblik på bestemmelse af nitrifikationshastighed, denitrifikationshastighed og iltrespiration. Herigennem fås en mulighed for at kalibrere edb-modellen til at de aktuelle slamegenskaber, således at modellens beskrivelse af de proces tekniske egenskaber svarer til slammet i selve anlægget. Undersøgelserne af slamegenskaberne er gennemført som beskrevet i (*Kristensen G.H, Elberg P. og Jansen J la C, 1998*), hvortil der henvises for en uddybning af metoderne.

2.5.2.1 Nitrifikationshastighed, denitrifikationshastighed og iltrespiration

Slammets maksimale nitrifikationshastighed måles ved at følge reduktionen i ammonium (eller stigningen i nitrat) i en reaktor med slam og højt indhold af ilt. Herved bestemmes den maksimale ammoniumomsætning ved den givne temperatur. Tabel 13 viser resultatet af de tre gennemførte undersøgelser.

Slammets maksimale denitrifikationshastighed måles ved på tilsvarende måde at følge nitratreduktionen i en reaktor uden ilt; men med tilsætning af letomsætteligt organisk stof (acetat) som kulstofkilde til denitrifikationen. Tabel 13 viser resultatet af de to gennemførte undersøgelser.

Slammets maksimale iltrespiration måles ved løbende at følge iltforbruget i en reaktor med slam og højt iltindhold. Efter tilsætning af en letomsættelig kulstofkilde (acetat) stiger iltforbruget til det maksimale for slammet. Tabel 13 viser resultatet af de to undersøgelser, der er gennemført.

Tabel 13. Nitrifikationshastighed, denitrifikationshastighed og iltrespiration for slam fra renseanlægget på Svanholm Gods

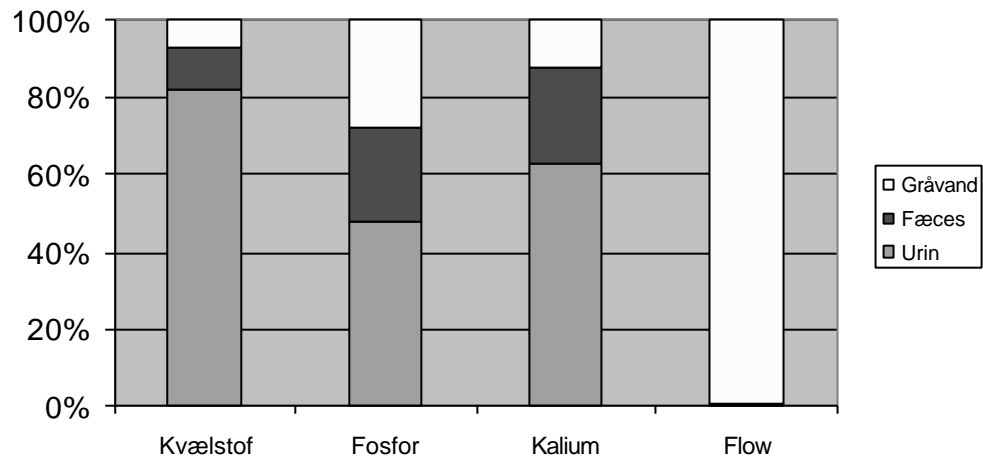
Dato	Nitrifikationshastighed mgN/gVSS*h	Denitrifikationshastighed mgN/gVSS*h	Iltrespiration mgO ₂ /gVSS*h
26-09-01	0,8	8,0	20
05-11-01	2,1	8,9	23
06-02-02	0,8	-	-

Det ses at der er nogen forskel i de målte nitrifikationshastigheder, idet den ene er væsentlig højere end de to øvrige, medens de maksimale denitrifikationshastigheder og iltrespirationshastigheder er næsten ens ved de to undersøgelser. Da belastningsforholdene ikke er kendt i detaljer er det ikke muligt at finde årsagen til den afvigende værdi. Da der er sket omlægninger i kloaksystemet efter den 2. måling anses den sidste måling for mest repræsentativ for slammets proceshastigheder.

3 Konsekvenser af urinseparering for belastning af renseanlæg på Svanholm Gods

Urin udgør en meget lille del af den samlede spildevandsmængde; men indeholder hovedparten af spildevandets kvælstof og en væsentlig del af fosfor og kalium. Urinseparering har derfor ingen væsentlig betydning for den samlede spildevandsmængde eller indholdet af organisk stof, hvorimod kvælstof og fosforbelastningen reduceres betydeligt.

I figur 3.1 er urins betydning for spildevandssammensætningen sammenstillet med de øvrige bidrag. (Naturvårdsverket, 1995). Resultaterne er en sammenstilling af svenske undersøgelser; men den forventes også at være dækkende for danske forhold.



Figur 3.1. Fordeling af næringssalte og flow i husholdningsspildevand (Naturvårdsverket, 1995)

Det ses at ca. 80% af kvælstofbelastningen i husholdningsspildevand kommer fra urinen. Urinens kalium er lidt mindre betydningsfuldt og for fosfor er det kun ca. 50%, der kan forventes fra urinen. Kalium behandles ikke yderligere i denne rapport, da kalium er opløst i spildevandet og ikke påvirkes af renseprocesserne. Det bidrager dog til urinens gødningsværdi.

I praksis vil det ikke være muligt at opnå 100% effektiv urinseparering ligesom andre kilder i et renseanlæg kan bidrage med organisk stof, kvælstof og fosfor, der kan påvirke den samlede spildevandssammensætning.

For at bedømme effekten af den reducerede belastning på driften af renseanlægget gennemføres edb-simulering af det eksisterende anlægs drift på basis af en række belastningsscenarier, der inkluderer forskellig effektivitet af urinsorteringen.

I simuleringerne opereres med 3 hovedscenarier:

Udgangsscenariet er anlæggets nuværende drift med afskæring af spildevand, der tidligere har givet anledning til belastningstoppe idet dette spildevand

forventes elimineret ved de allerede foretagne mindre ændringer i kloaksystemet.

100% urinseparation repræsenterer den maksimalt opnåelige reduktion i belastningen af renseanlægget ved urinsortering. Det forudsættes her at der overalt er installeret urinsortende toiletter og at de bruges 100% effektivt.

80% urinsortering repræsenterer et niveau for urinsorteringen, hvor oplandets toiletter er omstillet og hvor brugerne anvender toiletterne fornuftigt.

3.1 Sammensætning af spildevand før og efter urinseparering

Sammensætningen af spildevandet før og efter urinseparering kan fastlægges på flere måder. Umiddelbart kan der tages udgangspunkt i de aktuelle målinger fra renseanlægget og i de standardtal, der findes for den enkelte persons vandforbrug og udskillelse af organisk stof, kvælstof, fosfor. Som alternativ kan der tages udgangspunkt i mere bredt accepterede standardtal for spildevandssammensætning (Miljøstyrelsen, 2001).

Den aktuelle belastningen af renseanlægget på Svanholm Gods er relativt usikker bestemt, idet det viste sig at de tidligere års løbende belastningsmålinger lejlighedsvis har været meget kraftigt påvirket af fejltilslutninger eller spild fra produktionsvirksomhederne på Godset. Disse belastningstal er derfor mindre værdifulde i den aktuelle sammenhæng.

Tabel 14 viser belastningsopgørelsen ud fra standardtallene i (Miljøstyrelsen, 2001) og de målte koncentrationer, idet der er taget udgangspunkt i de analyseresultater, der skønnes upåvirket af spildevandet fra malkeområdet på Svanholm Gods.

Tabel 14. Belastning af renseanlægget på Svanholm Gods

		COD g/PE/d	Kvælstof g/PE/d	Fosfor g/PE/d	Vandforbrug l/PE/d
Enhedsstal		142	14,2	2,9	245
Mængder	kg/d	15,6	1,56	0,32	
Koncentration uden indsivning	mg/l	579	58	11,8	
Koncentration 50% indsivning	mg/l	386	39	7,9	
Koncentration 100% indsivning	mg/l	289	29	5,9	
Opmålte koncentrationer	mg/l	300	45	8	

Det ses at de opmålte koncentrationer stort set svarer til de der opnås ved en moderat indsivning på omkring 50%. I de efterfølgende beregninger benyttes derfor de standardtal, der indgår i (Miljøstyrelsen, 2001).

3.2 Scenarier for spildevandsudviklingen

På baggrund af belastningstallene i tabel 14 og scenariebeskrivelserne ovenfor kan den fremtidige belastning af renseanlægget på Svanholm Gods fastlægges for det enkelte scenarie. Tabel 15 giver hovedtallene.

Tabel 15. Mængder og belastning i de tre scenarier

Scenarier		COD	Kvælstof	Fosfor	Vandføring m ³ /d
Udgangsscenario					
Mængde	kg/d	15,6	1,6	0,32	40,5

Koncentration, 50% indsvning	mg/l	386	39	7,9	
100% urinsortering					
Mængde	kg/d	15,6	0,3	0,16	40,5
Koncentration, 50% indsvning	mg/l	386	7,7	3,9	
80 % urinsortering					
Mængde	kg/d	15,6	0,6	0,19	40,5
Koncentration, 50% indsvning	mg/l	386	14	4,7	

4 Edb-simulering af renseanlægget på Svanholm Gods

Renseanlægget på Svanholm Gods har et veldefineret kloakopland med en god beskrivelse af nettet og af kilderne til vand og stofbelastning. I forhold til anlæggets størrelse og kildernes karakter er belastningen også rimeligt veldefineret. Det er derfor muligt at bedømme konsekvensen af urinsortering i oplandet til renseanlægget ved edb-simulering.

Nedenfor beskrives strategien og resultaterne fra simuleringerne af scenarier i kapitel 3.

4.1 Modelleringsstrategi

Ved edb-simuleringerne er benyttet det dansk udviklede edb-simuleringsprogram EFOR version 2001.

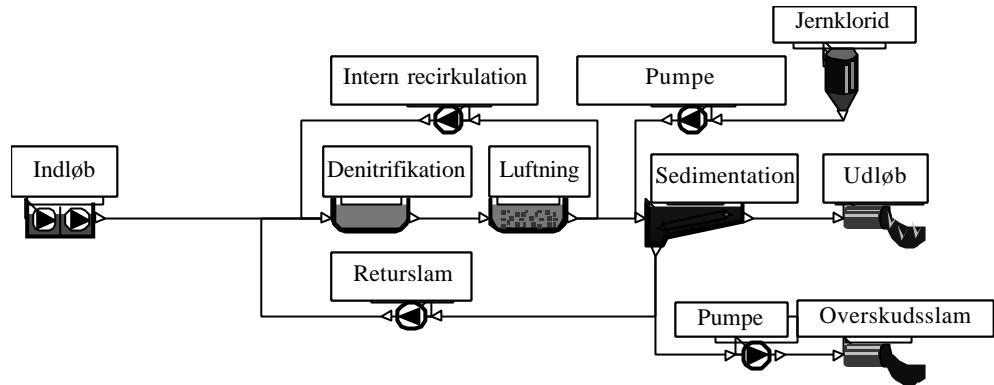
Modellen kalibreres til at simulere den aktuelle drift af anlægget og foregår i tre trin:

- Modellens fysiske indretning, herunder alle voluminer, strømme, doseringer og styringer implementeres i modellen.
- Spildevandsmængden og sammensætningen justeres svarende til belastningsopgørelsen i kapitel 3 og sammensætningen justeres i lyset af de foretagne specialanalyser beskrevet i kapitel 2.
- Herefter justeres modellens proceskonstanter således at de modellerede procesegenskaber svarer til de foretagne analyser. I denne justering kan der være tale om at foretage justeringer også i spildevandssammensætningen, idet omfanget af disse specialmålinger er begrænset og i betydeligt omfang skønnes påvirket af spildevand fra aktiviteter på Godset, der nu ikke længere tilføres renseanlægget. Procesegenskaberne er et resultat af spildevandssammensætningen og af renseanlæggets drift og indretning gennem en længere periode, således at de bedre afspejler belastningen og dens variationer.

Efter kalibrering af modellen ændres belastningsforholdene svarende til de enkelte scenarier for at bedømme de umiddelbare effekter af urinsortering ved uændret drift af renseanlægget. Herefter optimeres driften af anlægget i lyset af de nye belastningsforhold. Der gennemføres kun beregninger under stationære forhold da der ikke foreligger målinger af belastningsvariationerne over døgnet og da det relativt store anlægsvolumen vil udjævne normalt forekommende variationer i belastningen.

4.2 Kalibrering af simuleringsmodel til anlæggets nuværende belastning

Den fysiske indretning af renseanlægget på Svanholm Gods fremgår af tabel 4 og 5. Figur 4.1 viser modellen af renseanlægget som det fremtræder i modellen. I modellen er indbygget de voluminer, strømme, doseringer og styringer der fremgår af tabellerne.



Figur 4.1. Repræsentationen af renseanlægget på Svanholm Gods i edb-simuleringsprogrammet EFOR

Tabel 16 viser spildevandssammensætningen således som den indledningsvis implementeres i modellen. Den samlede belastning fremgår af tabel 15 og resultatet af den procesmæssige karakterisering er sammenfattet i tabel 13. Der er dog kun benyttet middelværdien af de to sidste karakteriseringer idet den første, hvor COD var meget høj ikke skønnes at være repræsentativ for spildevandet efter omlægning af kloaksystemet således at spildevand fra malkeområdet afskæres.

Tabel 16. Spildevandssammensætning ved kalibrering af edb-modellen

Vandføring m ³ /d	40,5
COD-total mg/l	386
Opløst omsætteligt mg/l	146
Opløst inert mg/l	20
Partikulært nedbrydeligt mg/l	20
Partikulært inert mg/l	200

Tabel 17 viser de proceshastigheder, der benyttes ved finkalibrering af modellens proceskonstanter jf. tabel 13.

Tabel 17. Proceshastigheder benyttet ved modelkalibrering

Nitrifikationshastighed mg N/gVSS*h	Denitrifikationshastighed mg N/gVSS*h	Iltrespiration mgO ₂ /gVSS*h
0,8	8,5	22

4.2.1 Kalibrering af modellen.

Ved anvendelse af spildevandskarakteriseringen vist i tabel 16 kunne konstateres at den meget høje inerte fraktion af COD førte til en meget ringere kvælstoffjernelse end der kan konstateres i praksis. De målte proceshastigheder med denne fordeling af COD resulterede også i proceshastigheder (især nitrifikationshastigheden) noget lavere end det målte. Da den inerte fraktion yderligere er højere end det normalt findes på kommunale renseanlæg blev den reduceret således at modellens

nitrifikationshastighed svarer til de målte, idet reduktionen sker således at der opnås et COD ud af anlægget på niveau med det fundne i praksis. Edb-simulering er herudover udføres uden at foretage andre ændringer af modellens standard proceskonstanter.

Afløbskvaliteten under stationære forhold er vist i tabel 18 sammen med gennemsnitsafløbskvaliteten de seneste 2 år, idet der ikke er medtaget resultater, hvor der har været slamflugt på anlægget.

Tabel 18. Resultater fra simulering af afløbskvaliteten fra renseanlægget på Svanholm Gods, sammenholdt med resultater fra de senere års drift

Scenarie	COD mg/l	Total-N mg/l	Ammonium mg/l	Nitrat mg/l	Total-P mg/l	Suspenderet stof mg/l
Scenarie 1	42	9,4	0,22	8,3	0,49	12
Målte værdier	55	7,2	2,4	2,5	0,38	11,3

Det ses af tabellen at modellens resultater for COD og ammonium ligger i underkanten af de fundne værdier, medens nitrat og dermed Total-N er noget højere. Afløbskvaliteten af fosfor og suspenderet stof er tæt på det målte.

Den gode denitrifikation skønnes i perioder at være forårsaget af de store ekstrembelastninger især med organisk stof, der tidligere har ført til overbelastning af renseanlægget. Udover en god nitratfjernelse har de imidlertid også ført til problemer for nitrifikationen og forhøjede udledninger af COD.

Den kalibrerede model anses derfor for at give en god beskrivelse af anlæggets nuværende driftsforhold.

4.2.2 Følsomhedsberegninger

Der er foretaget supplerende modelberegninger for at vurdere effekten af døgnvariationer i anlæggets hydrauliske belastning, effekten af en mindre indsivning end forudsat og driften under varierende temperaturforhold.

Døgnvariationerne i den hydrauliske belastning fundet på anlægget giver ikke anledning til mærkbare ændringer i afløbskvaliteten og selv større variationer fundet under regn giver kun moderate variationer i afløbskvaliteten.

Ved ændring i indsivningen i forhold til det forudsat ændres tilløbskoncentrationerne tilsvarende. Selv en halvering af indsivningen slår dog kun i begrænset omfang igennem på afløbskvaliteten og større indsivning end forudsat fører naturligvis til tilsvarende reducerede udløbskoncentrationer.

Simuleringer er gennemført i temperaturintervallet 6 - 20 °C. Ved længerevarende perioder med de laveste temperaturer opstår der problemer med at opretholde nitrifikationen; men herudover giver temperaturvariationer ikke anledning til væsentlige ændringer i afløbskvaliteten.

Samlet vurderes resultaterne fra den kalibrerede model derfor ikke at være særligt følsomme for selv væsentlige ændringer i de valgte beregningsforudsætninger. De efterfølgende modelberegninger er udført ved 12 °C og med fast vandføring svarende til 50% indsivning.

4.3 Effekten af urinsortering

Med udgangspunkt i den kalibrerede model er der foretaget simuleringer med to scenarier for den fremtidige effekt af urinsortering i oplandet til renseanlægget på Svanholm Gods. Udover direkte beregninger af de forventede driftsresultater ved ændring af belastningen uden ændringer af driften er der foretaget beregninger, der kan belyse muligheden for driftsbesparelser på det nuværende renseanlæg og beregninger, der kan belyse muligheden for at reducere det nødvendige volumen af renseanlægget, som følge af den reducerede belastning.

4.3.1 Effekten af urinsortering ved uændret drift af renseanlægget

Edb-simuleringen af driftsresultaterne for renseanlægget bliver dramatisk forskelligt med henholdsvis 100% og 80% urinsortering som det fremgår af tabel 19. Ved 100% effektiv urinsortering opnås en meget dårlig COD og fosforreduktion, medens ammonium og nitrat stort set ikke findes i afløbet. Årsagen er at der ikke ved simuleringerne er tilstrækkeligt uorganisk kvælstof til at slammet kan opretholde den normale vækst og dermed reduktion af organisk stof. Så snart den tilgængelige ammonium og nitrat er opbrugt stopper rensningen af COD og der udledes store mængder opløst organisk stof (der udover COD indeholder en del fosfor og kvælstof).

Ved 80% urinsortering er der tilstrækkelig uorganisk kvælstof til fuldstændig omsætning af det organiske stof og det ses at der opnås en meget vidtgående reduktion af især kvælstof således at rensningen bliver langt bedre end krævet.

Tabel 19. Resultater fra simulering af afløbskvaliteten på Svanholm Gods ved de 3 scenarier sammenholdt med resultater fra de senere års drift

Scenarie	COD mg/l	Total-N mg/l	Ammonium mg/l	Nitrat mg/l	Total-P mg/l	Suspenderet stof mg/l
Scenarie 1, udgang	42	9,4	0,22	8,3	0,49	12
Scenarie 2, 100%	260	6,2	<0,1	<0,1	1,7	12
Scenarie 3, 80%	42	2,0	0,22	0,93	0,32	12
Målte værdier	55	7,2	2,4	2,5	0,38	11,3

4.3.2 Bedømmelse af scenariet med 100% urinsortering

I praksis vil det ikke være muligt at opnå et 100% effektivt urinsortende system, således at de opnåede resultater fra simuleringen næppe vil kunne realiseres i praksis. Supplerende beregninger viser, at dersom der opnås 95% effektivitet i urinsorteringen vil der være tilstrækkeligt uorganisk kvælstof til at opnå vidtgående omsætning af det organiske stof og vidtgående kvælstof og fosfor reduktion. Edb-simuleringerne viser dog at der ved separation af de forskellige spildevandsstrømme skal sikres balance mellem organisk stof og næringssalte for at få en velfungerende biologisk nedbrydning af det organiske stof. Især kvælstof kan udgøre et problem ved urinseparation fordi urinen indeholder hovedparten af spildevandets uorganiske kvælstof.

4.3.3 Optimering af anlægsdrift ved 80% effektiv urinsortering

Det anses i praksis ikke for muligt at opnå mere end ca. 80% effektiv urinsortering i oplandet til renseanlægget på Svanholm Gods. Det vil kræve fuldstændig udbygning af systemet i oplandet og god praksis omkring anvendelsen af toiletterne.

De simulerede afløbsresultater i tabel 19 viser at der opnås meget lave afløbsværdier for ammonium, nitrat og totalkvælstof ved dette niveau af urinsorteringen. Der er således ingen tvivl om at urinsortering i oplandet til eksisterende anlæg også i mere moderat omfang vil forbedre afløbskvaliteten.

Ved vidtgående urinsortering giver den reducerede belastning mulighed for væsentlige driftsbesparelser på forskellige områder, ligesom der kan gennemføres mere radikale ændringer i anlæggets opbygning. De sidste vil formentlig ikke være aktuelle på et eksisterende anlæg; men vil kunne udnyttes hvis der er tale om nyanlæg eller behov for mere omfattende reovering af et rensningsanlæg.

4.3.3.1 Optimering af driften på det eksisterende anlæg

Reducerede driftsomkostninger ved urinsortering i oplandet skønnes at kunne opnås på 4 områder:

- Den reducerede fosforbelastning fører til en væsentlig reduktion af behovet for anvendelsen af fædningskemikalier.
- Det reducerede behov for denitrifikation kan mindske behovet for intern recirkulation
- Nitrifikation kan evt. helt undlades, hvorved der sker yderligere besparelser til beluftning. (Slamaldere sænkes til nitrifikationen ophører)
- Den reducerede kvælstofbelastning fører til reduceret iltbehov og dermed til reduktion af energiforbruget til beluftning, dette driftstiltag fører ikke til ændringer i afløbskvaliteten, men alene til reduceret energiforbrug da anlægget har iltstyring allerede i dag. Der er derfor ikke lavet supplerende beregninger af effekten på afløbskvaliteten.

I tabel 20 er afløbskvaliteten vist ved optimering efter de 3 første punkter. Resultaterne er opnået ved reduktion af kemikalieforbruget til 30% af det aktuelle forbrug. Herved er opnået en udledning af fosfor med en passende margen til udlederkravet på 1 mg/l. Ved den efterfølgende optimeringen af energiforbruget er optimeringen af fosfordoseringen fastholdt.

Tabel 20. Afløbskvaliteten på Svanholm Gods efter optimering af driften til belastningen med 80% effektiv urinsortering i oplandet sammenholdt med resultater fra de senere års drift

Scenarie	COD mg/l	Total-N mg/l	Ammonium mg/l	Nitrat mg/l	Total-P mg/l	Suspenderet stof mg/l
Scenarie 3, udgang	42	2,0	0,22	0,93	0,32	12
Reduceret dosering	42	2,1	0,17	1,0	0,82	12
Recirkulationsstop	42	3,3	0,17	2,3	0,82	12
Nitrifikationsstop	40	2,8	2,0	<0,01	0,53	12
Målte værdier	55	7,2	2,4	2,5	0,38	11,3

Stop af den interne recirkulation forøger udledningen med ca. 1,5 mg/l nitrat. Ved fuldstændig stop af nitrifikationen (ved at nedsætte slamaldere) kan anlæggets udlederkrav for total-N let overholdes (og for fosfor og organisk stof). Derimod kan det være vanskeligt at overholde kravet til ammonium, da blot mindre afvigelser i forholdet mellem organisk stof og kvælstof fører til store variationer i ammoniumudledningen.

4.3.3.2 Reduktion i volumenbehov på renseanlæg med urinsortering

Udover driftsbespargelser fører urinsortering i oplandet til et mindre volumenbehov, af de biologiske reaktorer da disse i betydeligt omfang er bestemt af kvælstofbelastningen. Umiddelbart vil der på Svanholm Gods være 2 muligheder for volumenbesparelser:

- Denitrifikationstanken kan lukkes og spildevandet pumpes direkte ind i nitrifikationstanken.
- Voluminet af luftningstanken kan reduceres ved placering af en ekstra væg.

I tabel 21 er afløbskvaliteten vist ved en tænkt ombygning og optimering af anlægget svarende til de to muligheder. Ved optimeringen er fosfordoseringen fastholdt på det niveau, der er fundet ovenfor.

Tabel 21. Afløbskvaliteten på Svanholm Gods efter reduktion af anlægsvoluminerne ved en belastningen med 80% effektiv urinsortering i oplandet sammenholdt med resultater fra de senere års drift

Scenarie	COD mg/l	Total-N mg/l	Ammonium mg/l	Nitrat mg/l	Total-P mg/l	Suspenderet stof mg/l
Reduceret dosering	42	2,1	0,17	1,0	0,82	12
Uden denitrifikation	42	3,7	0,13	2,7	0,80	12
1/3 luftningstank	43	3,2	2,2	<0,1	0,54	12
Målte værdier	55	7,2	2,4	2,5	0,38	11,3

Det ses at der er muligheder for at lukke denitrifikationstanken og fastholde overholdelsen af udlederkravene. Hvis det samlede beluftede volumen reduceres til 1/3 kan kravet til Total-N overholdes; men det er tvivlsomt om vinterkravet på 4 mg/l og sommerkravet på 2 mg/l til ammonium kan overholdes, idet blot mindre variationer i forholdet mellem organisk stof og kvælstof kan føre til store variationer i ammoniumudledningen, da fjernelsen alene sker ved indbygning i overskudsslammet.

4.4 Virksomheder og institutioners betydning for udnyttelse af urinsortering som middel til aflastning af renseanlægget

Gennemgangen af kloaksystemet og målinger på de virksomheder og institutioner, der er i kloakoplandet sammenholdt med belastnings- og driftsresultater fra renseanlægget på Svanholm Gods viser at Godsets virksomheder og institutioner ikke uventet kan være potentielt væsentlige bidragydere til belastningen.

Godsets fælleskøkken må naturligvis betragtes som en del af husholdningsspildevandet, da afledningen herfra erstatter tilsvarende udledninger fra den enkelte husstand.

Spildevand fra grøntsagspakkeriet viste et lavt stofindhold og har næppe større betydning for anlæggets belastning eller drift.

Spild til kloaknettet fra Godsets malkeområde skønnes derimod tidligere at have haft betydning både for belastning og rensning på anlægget. Store mængder letomsætteligt organisk stof har formentlig givet anledning til lejlighedsvis overbelastning af anlægget således at nitrifikationen har været reduceret. Samtidig har de store mængder organisk stof sikret en vidtgående denitrifikation i perioder, hvor anlægget har kunnet klare belastningen.

Ved etablering af urinsortering i oplandet skal tilførsel af spildevand fra virksomheder i oplandet vurderes nøje. Belastningen må naturligvis ikke blive så stor at anlæggets kapacitet overskrides. Spildevand med højt organisk stofindhold sikrer en større indbygning i slammet som kan sikre en meget vidtgående kvælstoffjernelse; men som også kan føre til problemer med kvælstofmangel til den biologiske omsætning, hvis bidraget er for stort.

5 Vurdering af de økonomiske konsekvenser ved urinsortering på Svanholm Gods

De økonomiske konsekvenser af gennemførelse af urinsortering i oplandet til renseanlægget på Svanholm Gods kan opgøres til omkostningerne til indretning af systemet, de besparelser der kan ske på renseanlægget ved den reducerede belastning, evt. indtægt ved salg af urin og eventuel reduktion i afgifter for udledning af spildevand. Nedenfor gøres et overslag over hvert område.

5.1 Overslag for etablering af urinsortering

Overslaget tager udgangspunkt i beskrivelsen af systemet i kapitel 1. Baseret herpå er der nedenfor overslagsmæssigt opgjort omkostningerne til materialer og etablering. Alle priser er ekskl. moms. Hovedvægten er lagt på overslaget over materialeforbrug til urinsorteringssystemerne, idet et egentlig projekt for de meget omfattende installationer ved en evt. udbygning ligger udenfor projektets rammer. Udgifter til etablering af alle ledninger inde i bygninger og frem til tanke, samt nedgravning af tanke og nedsivningsanlæg vil være meget omfattende og kan medføre mange vanskelige indgreb i bygningerne under placeringen af især urinledningerne.

Materialeforbruget til ledninger, fittings mv. er anslået, idet der ikke er foretaget en egentlig opregning af materialeforbrug.

30 separationstoiletter med hvert sit pumpeanlæg for urin:	240. - 270.000 kr.
13 tanke til urin (5 á 10 m ³ og 8 á 6 m ³):	325. - 375.000 kr.
Materialer til urinledninger, brønde, øvrige fittings og rør:	100. - 150.000 kr.
Diverse til niveaumålere mv.:	25.000 kr.
1 nedsivningsanlæg:	15.000 kr.
I alt til materialer ekskl. moms	ca. 750.000 kr.

Udover de rene materialeudgifter kommer alle udgifter til installation, som overslagsmæssigt anslås til et beløb af samme størrelsesorden ved udførelse med entreprenører.

5.2 Potentialer for besparelser og indtægter ved etablering af urinsortering

Besparelserne på Svanholm Gods ved gennemførelse af urinsortering i oplandet er relateret til besparelser i strømforbruget til iltning af ammonium

og i mindre omfang til reduceret behov for intern pumpning. Derud over vil der være potentielle besparelsemuligheder på kemikalieforbruget til fosforfældning og til spildevandsafgifter. De potentielle indtægter vedrører salg af urin.

Det årlige strømforbrug for renseanlægget på Svanholm Gods inklusiv drift af indløbspumpestation udgjorde i 2001 14.000 kWh til en samlet pris af ca. 20.000 kr.

Det årlige forbrug af fældningskemikalie (jernklorid) udgjorde i 2001 ca. 1 m³ til en pris af ca. 3.500 kr.

I forhold til etableringsomkostningerne for et system til urinsortering er driftsbesparelspotentialet derfor begrænset.

5.2.1 Besparelsen til beluftning

Besparelsen til beluftningen kan udregnes teoretisk ud fra iltbehovet til henholdsvis nedbrydning af organisk stof, slamstabilisering og iltning af ammonium (inklusive den besparelse i iltforbrug, der efterfølgende sker som led i denitrifikationen, hvor en del af det organiske stof nedbrydes med nitrat i stedet for med ilt) eller det kan vurderes ud fra modelberegningerne.

I lyset af potentialet beskrevet ovenfor skønnes simple overslagsberegninger at være tilstrækkelige til at bedømme de mulige besparelser.

Normalt udgør elforbruget til beluftning mere end 80% af energiforbruget på et renseanlæg og iltning af ammonium udgør typisk 25% heraf. Ved 80% effektiv urinsortering reduceres ammoniumbelastningen med 2/3. På den baggrund kan den maksimale årlige reduktion i energiforbruget skønsmæssigt opgøres til 1.800 kWh (2.500 kr.) i de tilfælde hvor nitrifikation fastholdes i anlægget og til 2.800 kWh (3.900 kr.), hvis anlægget drives uden nitrifikation.

5.2.2 Besparelser til kemikaliedosering

Besparelsen ved kemikaliedosering kan udregnes teoretisk ud fra tilførslen af fosfor eller baseres på modelberegningerne.

Det samlede kemikalieforbrug på renseanlægget på Svanholm Gods udgør ca. 1 m³ jernklorid pr år svarende til en dosering på ca. 0,27 l pr. dag. Ved 80% effektiv urinsortering reduceres fosforbelastning med 40%. Edb-simuleringerne viser en noget større besparelse (70%), hvilket dels skyldes at fældningen er optimeret således at der benyttes en dosering, hvor udlederkravet lige akkurat overholdes og dels at kun den del af fosforbelastningen, der ikke indbygges i slammet skal udfældes. Da slamproduktionen er den samme bliver den procentvise reduktion i behovet for fældningskemikalier større end reduktionen i fosforbelastningen.

Det vurderes derfor at reduktionen i fældningskemikalier ved urinsortering udgør 70% svarende til en årlig besparelse på ca. 2.500 kr.

5.2.3 Salg af urin

Den indsamlede urin forventes anvendt til gødning og har som sådan en værdi svarende til gødningsprisen. Med et 80% effektivt urinsorteringssystem indsamles årligt ca. 370 kg kvælstof og ca. 50 kg fosfor. Det skønnes ikke

muligt at sælge eller på anden måde værdisætte så små mængder gødning, idet de kun udgør en brøkdel af den gødningsmængde der anvendes på et normalt jordbrug og da kørsel og spredning af urinen vil kræve en speciel håndtering.

5.2.4 Afgiftsbesparelser ved forbedret rensning

Dersom afløbskvaliteten forbedres ved gennemførelse af urinsortering i oplandet til rensningsanlægget på Svanholm Gods vil der kunne opnås afgiftsbesparelser idet spildevandsudledninger fra rensningsanlæg er pålagt afgifter på udledning af organisk stof målt som BOD og på kvælstof og fosfor. Urinsortering forventes dog kun at påvirke afløbskvaliteten af kvælstof og fosfor.

Størrelsen af afgifterne er dels påvirket af den reducerede belastning af kvælstof og fosfor; men også af de driftsforhold der efterfølgende etableres for at optimere driften. Der er derfor mulighed for at optimere driften både i forhold til driftsomkostningerne og i forhold til afgifterne.

De nuværende afgifter er 110 kr. pr kg fosfor og 20 kr. pr kg kvælstof. Med dette afgiftsniveau og med den vandføring, der er benyttet i modelberegningerne ($40,5 \text{ m}^3/\text{d} \sim \text{ca. } 15.000 \text{ m}^3 \text{ år}$), vil en reduktion i udledningen på 1 mg/l kvælstof betyde en afgiftslettelse på 300 kr. og for 1 mg/l fosfor 1.800 kr.

Det er begrænset, hvilke reduktioner i kvælstof og fosfor, der kan opnås ved urinsortering og da optimering efter begrænsning af driftsudgifter til el og kemikalier øger udledningen af kvælstof og især fosfor vil disse to typer besparelser kun i begrænset omfang kunne realiseres samtidig.

6 Referencer

Roeleveld P.J. og Van Loosdrecht M.C.M. Experiences with Guidelines for Wastwater Characterisation in The Netherlands. Proceedings from Activated Sludge Modelling, Fifth Kollokollo Seminar, (2001)

Kristensen G.H, Elberg P. og Jansen J la C, Batch Test Procedures as Tools for Calibration of the Activated Sludge Model - A Pilot Scale Demonstration. Wat.Tech. Vol. 37, No. 4-5, (1998).

Miljøstyrelsen, Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 13, Punktkilder 2000, (2001)